2EL IMPACTO DEL AVANCE DE LAS CIENCIAS SOBRE LA SOCIEDAD EN LAS PRIMERAS DECADAS DEL SIGLO XXI. EL CONTEXTO PARA LA EDUCACIÓN.

Jorge E. Allende
Director del Instituto de Ciencias Biomédicas
Facultad de Medicina
Universidad de Chile

1. El vertiginoso avance científico actual incrementará su velocidad en el siglo XXI

Al iniciar el nuevo tercer milenio, una de las características más sobresalientes de nuestra civilización es el extraordinario y vertiginoso avance científico. Este ritmo que duplica nuestros conocimientos cada cuatro años tiende a incrementarse por el efecto auto catalítico resultante de que la ciencia genera nuevas tecnologías y a su vez las nuevas tecnologías posibilitan un avance más veloz de la ciencia. Es seguro predecir que el ritmo del avance científico-tecnológico se va a incrementar aun más en las primeras décadas del siglo XXI. Otro fenómeno relacionado tiene que ver con el acortamiento del periodo que transcurre entre la generación de los conocimientos científicos y el momento que esas aplicaciones llegan al "público" mundial como nuevos productos o servicios. En los países desarrollados, las empresas y las universidades e institutos de investigación han forjado bien lubricadas alianzas y acuerdos que muy eficientemente y con gran rapidez traducen los nuevos conocimientos en aplicaciones y mejoramientos de procesos y productos que llegan al mercado con sólo meses de demora.

El segundo factor que acelerará el impacto del desarrollo científico-tecnológico en las próximas décadas es la demanda que surgirá de los enormes problemas planteados por la sustentabilidad del desarrollo que deseamos. Recientemente las academias de ciencias de todo el mundo se reunieron en Japón a plantearse los grandes desafíos de la transición a la sustentabilidad que deberán enfrentarse antes del año 2050 (1-3). Uno de los temas planteados es la necesidad que tendrá la humanidad de alimentar, vestir y proporcionar trabajo a los 3000 millones de nuevos habitantes que el planeta tendrá en esos años. Además esta la impostergable necesidad de resolver el problema de los más de 800 millones de personas que ahora sufren hambre y desnutrición. La situación se agudiza por el hecho que el total del incremento de la población se generará en los países en desarrollo. La escasez de tierras y de agua para irrigar nuevas superficies cultivables y la

necesidad de preservar la biodiversidad de las selvas vírgenes que aun subsisten en el planeta nos indican que la única solución viable para duplicar la producción agropecuaria es el cultivo intensivo en la agricultura y la generación de nuevas variedades de plantas alto rendimiento y mayor valor nutritivo. Esto se puede lograr a través de la biotecnología y los alimentos transgénicos. Desgraciadamente ha habido una pobre percepción social de la necesidad y beneficios de los avances científicos en este campo y por parte de las empresas biotecnológicas ha habido una inadecuada disposición por responder a las preocupaciones y temores de la gente. Vamos a volver sobre este tema.

Otro cambio que ocurrirá aceleradamente y requerirá de avances en ciencia y tecnología en los próximos años es el de la estructura etaria de nuestras poblaciones. La disminución porcentual de nuestros niños y jóvenes y el aumento notorio en la proporción de los adultos mayores y el prolongamiento de sus vidas demandaran de respuestas científicas que mejoren la calidad de vida de los miembros de la tercera edad y un mayor y más dedicado cuidado de los niños.

Importantes y serios desafíos para la ciencia y la tecnología se pueden vislumbrar también en el desarrollo de nuevas fuentes de energía, de purificación y desalinización del agua y de descontaminación del medio ambiente.

Esta claro entonces que en los próximos años tendremos un avance científico cada vez más veloz y un acelerado desarrollo tecnológico y al mismo tiempo habrán grandes desafíos para enfrentar, mediante las herramientas de la ciencia y tecnología, la problemática del desarrollo sustentable.

Tomaré el ejemplo del avance de las ciencias biológicas que ha culminado en el reciente desciframiento del genoma humano, para analizar como el avance científico impacta o puede impactar en nuestra sociedad , en su educación y cultura.

2. Los avances científicos que llevaron al desciframiento del Genoma Humano.

La revolución de la biología molecular se inició en 1944 cuando Osvald Avery descubrió que el ADN es el material que contiene la información genética. Este descubrimiento, motivado por el deseo de Avery de encontrar la respuesta a que hacía virulentas a unas cepas de pneumococos en contraste con cepas avirulentas muy similares fue ignorado por la mayoría de la comunidad científica. El desciframiento de la estructura de doble hélice del ADN por Watson y Crick en 1953 (figura 1), sin embargo, contestó dos preguntas esenciales de la biología: como se podía codificar información en el ADN y como se podía copiar la información para trasmitirla fielmente de

generación en generación. La lista que se adjunta a continuación (Tabla I), detalla algunos de los grandes hitos de la biología molecular que se fueron sucediendo y que en el corto periodo de medio siglo nos trajeron desde el descubrimiento de Avery hasta el anuncio de Clinton y Blair del término del desciframiento del genoma humano hace unas semanas atrás. Sin poder entrar en detalles para comentar cada uno de los avances de esta lista, muchos de los cuales merecieron el Premio Nobel de Medicina y Fisiología o de Química, vale la pena hacer dos alcances generales. El primero ya fue dicho y tiene que ver con la velocidad de los avances. Para darse cuenta, es suficiente señalar que sólo en 1977, Frederick Sanger diseñó su metódica para determinar la secuencia de bases, las letras que codifican la información del ADN, método que lo hizo acreedor a su segundo Premio Nobel. Veintitrés años después, esa metódica que inicialmente permitía determinar la secuencia de 500 bases por semana, ha sido tan perfeccionada y robotizada que ahora ha permitido descifrar los 3000 millones de bases del genoma humano en unos pocos años. Actualmente un centro de genómica puede determinar un millón de bases por día. La segunda característica que podríamos comentar de la lista es el hecho que los primeros grandes descubrimientos de la biología molecular fueron la obra de una o dos personas mientras que los avances recientes sólo se pueden lograr mediante el trabajo de grandes consorcios de laboratorios, generalmente de varios países. Esta es una lección que los científicos latinoamericanos tenemos que aprender y que hace mucho más urgente e imperativa la integración de los esfuerzos de los países de la región en el campo científico tecnológico para lograr la masa crítica que nos permita atacar problemas ambiciosos y relevantes.

¿Qué efecto han tenido la lista de conocimientos de la Tabla I? La respuesta es que el impacto ha sido enorme en muchos ámbitos. Evidentemente que en el ámbito de los conocimientos biológicos los avances que hemos logrado en los últimos 50 años han sido extraordinarios. Estamos en la edad de oro de la biología en que se han contestado preguntas tan básicas como: los mecanismos que generan la diversidad de millones de diferentes anticuerpos que nos defienden de las infecciones; los mecanismos mediante los cuales las hormonas actúan sobre nuestros tejidos; o la respuesta a las preguntas de como y por qué las células se dividen; el proceso por medio del cual un embrión que inicialmente es una esfera se puede generar un bello y complejísimo animal o un ser humano.

Los avances de los últimos años en lo que sabemos sobre las células y los organismos vivos son realmente asombrosos. Pero el impacto de la biología molecular no ha sido solamente científico, también los conocimientos generados han resultado en nuevas tecnologías que han revolucionado drásticamente la medicina, la agricultura y la industria.

En la tabla II vemos algunos de los avances que la biotecnología ha producido en los últimos 20 años. Vemos, por ejemplo, que la ingeniería genética, la capacidad de cambiar e introducir material genético en seres vivos, nos ha permitido por ejemplo producir insulina humana en bacterias para el tratamiento de millones de diabéticos, también está permitiendo producir eritropoietina para tratar severos casos de anemia. Estas mismas técnicas han permitido elaborar vacunas contra muchas enfermedades como la hepatitis B, el cólera, la rabia y muchas otras mortales enfermedades.

También en el área médica estas técnicas han permitido diagnosticar enfermedades infecciosas con minúsculas muestras de sangre o tejidos y con una total certidumbre. Esta sensibilidad en el diagnóstico es fundamental en casos como el SIDA o infecciones con virus tan mortales como el Hanta. Es también ahora posible diagnosticar la presencia o el riesgo de decenas de diferentes enfermedades genéticas en familias o aun en fetos antes de nacer.

Los nuevos conocimientos nos han permitido entender la lógica del cáncer y como esa enfermedad se genera por una acumulación de mutaciones que van haciendo que esas células vayan gradualmente escapando los múltiples controles que regulan el crecimiento celular. El entender como se originan los diferentes cánceres y tumores está permitiendo diseñar nuevas drogas y tratamientos para controlar esta gravísima enfermedad que es uno de los máximos responsables de las muertes humanas. Los conocimientos moleculares también están ayudando a generar drogas y tratamientos para las patologías cardiovasculares que son otras de las mayores causantes de muerte.

En el campo de la agricultura, la biotecnología ha causado también un enorme impacto. El mejoramiento genético que permitió la revolución verde que ha salvado millones de vidas es un proceso muy lento que usa el cruzamiento clásico de diferentes variedades de plantas para ir consiguiendo azarosamente la introducción de genes beneficiosos en cultivares de alta productividad. Las metódicas que permiten directamente la introducción de genes deseables mediante la transgenesis ahorran mucho tiempo y grandes esfuerzos.

Actualmente se han desarrollado plantas transgénicas que producen granos con mayor poder nutritivo, por ejemplo con alto contenido de vitamina A. También se han producido plantes resistentes a diferentes tipos de insectos y de virus que causan grandes daños a la producción. Igualmente se han diseñado plantas resistentes a herbicidas y tomates y frutas que han sido modificados genéticamente para disminuir la velocidad del proceso de maduración, lo que permite su prolongado almacenamiento. En Cuba y en algunos otros países se han diseñado plantas para producir grandes cantidades de anticuerpos y vacunas y otras proteínas humanas de alto valor terapéutico. Se calcula que actualmente hay más de 35 millones de hectáreas plantadas con plantas transgénicas.

También se han producido animales trangénicos. Después del famoso ratón de Harvard, patentado por el hecho que su contenido de un oncogen activado lo hacía especialmente susceptible al cáncer, han surgido una serie de otras especies transgénicas como cerdos, cabras, ovejas y salmones. Algunos de estos animales transgénicos producen proteínas de alto costo y utilidad médica, secretándolas en la leche, lo que facilita mucho su posterior purificación. Muchos animales transgénicos han sido modificados con genes exógenos de la hormona de crecimiento lo que los hace crecer y desarrollarse más rápidamente lo que aumentaría su productividad económica. Las técnicas desarrolladas en el clonamiento de Dolly han abierto una nueva puerta para la generación de animales transgénicos modificados, posiblemente eliminando genes (knock-out) lo que sería de gran utilidad para estudiar la función de genes específicos.

A nivel de la industria, la biotecnología ha entrado fuertemente en la industria farmacéutica y en la agri-industria. Cepas de levaduras y bacterias genéticamente modificadas están siendo usadas en la fabricación de vinos y cervezas y también para la producción de enzimas y compuestos orgánicos de uso industrial. Uno de los aspectos más interesantes reside en el campo de la biotecnología ambiental. Las metódicas biotecnológicas están permitiendo hacer procesos más limpios y eficientes por ejemplo en dos industrias de gran importancia para Chile: la de fabricación de papel y la de harina de pescado.

La biología molecular y sus aplicaciones en la forma de biotecnología a pesar de llevar sólo 20 años de desarrollo ya han tenido un inmenso impacto en grandes áreas de la economía mundial y han generado nuevos productos que se transan anualmente en decenas de miles de millones de dólares.

Vale la pena señalar que la biotecnología incide en las áreas de desarrollo socioeconómico de la mayor importancia para América Latina como son la salud, la producción agropecuaria y la agri-industria.

Es también interesante detenerse brevemente en el intenso debate que actualmente se desarrolla sobre el uso y consumo de alimentos transgénicos. Este debate es una excelente ilustración de los peligros que existen en la incomunicación entre la sociedad en general con la comunidad científica-tecnológica.

En la comunicad científica mundial, como lo demuestra la declaración de un importante grupo de Academias de Ciencias (4) hay un consenso muy claro que la biotecnología y las técnicas de transgenesis son una respuesta potencial al gravísimo desafío de producir alimento para los miles de millones de nuevas bocas de los niños que nacerán en las próximas décadas. También se plantean estas técnicas como utilísimas herramientas para limitar los efectos negativos del actual uso de fertilizantes y pesticidas sobre el ambiente y avanzar hacia la sustentabilidad. Desafortunadamente, se ha despertado un serio rechazo por parte de grandes grupos en Europa y en menor medida en Estados Unidos y América Latina en contra del uso de estos alimentos. La arrogancia de las empresas biotecnológicas en este rubro y la poca disposición de los científicos a explicar en forma entendible la naturaleza de estos alimentos y las limitaciones de los riesgos involucrados han permitido que el debate se dé en un ámbito de temores y de argumentos principalmente emocionales.

Lo más grave es que esta falta de entendimiento esta deteniendo el avance de una de las mejores esperanzas que tenemos para ayudar a resolver el problema de alimentar a la humanidad en las próximas décadas.

3. El significado del desciframiento del genoma humano y su impacto en los próximos años.

El desciframiento del genoma humano anunciado hace sólo algunas semanas atrás es un gran logro para toda la humanidad. Sin duda que constituye uno de los más importantes hitos de la ciencia de todos los tiempos y un avance espectacular para las ciencias biológicas y médicas.

¿Qué se ha logrado y cómo se ha logrado?

El genoma humano es el conjunto de toda la información que cada ser humano hereda. El genoma esta conformado por gigantescas moléculas de ADN que están arrolladas y empacadas en los 23 pares de cromosomas que están en el núcleo de cada una de los 100 trillones de células que

componen nuestro cuerpo. Si uno estirara esas moléculas y uniera sus terminales de cada célula tendríamos un cordelito delgadísimo pero de dos metros de largo. Estas moléculas están compuestas por doble cadenas enrolladas sobre si mismas y cada una de esas cadenas tiene 4 diferentes eslabones químicos, las llamadas bases desoxinucleotídicas que pueden ser representadas por las letras A, T, G y C. Los ADN de diferentes organismos tienen diferentes secuencias de esas letras, pues es la secuencia de las letras la que, igual que las palabras, le da sentido a la información. El ADN de los 23 cromosomas humanos tiene alrededor de 3000 millones de letras, lo que es equivalente a un libro de un millón de páginas. En ese libro, hay entre 50.000 y 100.000 mensajes que son los genes y que constituyen sólo el 5% del genoma.

Para contestar la pregunta lo que se informó el 26 de Junio es que se había logrado tener digitado entre el 90 y el 97% del libro del millón de páginas con todas sus letras. También se han logrado identificar la posición y la secuencia de cerca de 10.000 genes o sea entre el 10 y el 20% de todos los mensajes. El otro logro es que se han podido poner más de 5000 señales a lo largo de todo el libro y de esta manera cualquier nuevo gen que se encuentra va a estar cerca de alguna de estas señales.

Llegar a este extraordinario logro se consiguió mediante un esfuerzo de 12 años que involucró a cientos de laboratorios en todo el mundo, mayormente en el mundo desarrollado. Los grandes contribuyentes a esto fueron los National Institutes of Health y el Department of Energy en Estados Unidos; la Wellcome Trust en el Reino Unido y la Fundación Genethon en Francia.

En América Latina, no hubo un esfuerzo organizado pero laboratorios en Brasil, México, Argentina y Chile hicieron pequeñas contribuciones a este logro.

Una organización internacional de científicos, llamada HUGO, coordinó los esfuerzos a nivel mundial y organizó reuniones que monitorearon el avance del Proyecto.

Empresas biotecnológicas con una predominante participación de científicos han jugado un papel clave en el inmenso avance tecnológico que ha sido necesario para lograr acortar el tiempo al 65% originalmente programado. Estos avances han incluido una robotización y automatización de los ensayos y al desarrollo de poderosos métodos computacionales para llevar adelante el análisis de los gigantescos bancos de datos. En los últimos años, algunas compañías, como CELERA, se han embarcado en un proyecto paralelo y hasta cierto punto competitivo con el esfuerzo financiado por los estados o por instituciones sin fines de lucro. El punto de controversia es que la información generada por los entes privados esta restringida y se pretende en algunos casos patentar parte de esa información. Estas pretensiones han sido muy resistidas por la comunidad científica

internacional que argumenta sobre la necesidad de que la información sea pública y accesible para poder usarla en investigación y también porque considera que la información genética es patrimonio de toda la humanidad y como tal no debería ser patentada.

Aunque el tener el genoma humano digitado en ese libro de un millón de páginas es un enorme logro, está muy claro que este más bien marca un inicio en vez de un final. Estamos ahora iniciando la era postgenómica en la que tenemos nuevamente un gran desafío por delante. Este gran desafío es entender ese libro que ahora esta casi totalmente en nuestro banco de datos. Tenemos todavía que aislar e identificar el 80 o 90% de los genes presentes en el genoma. Luego tenemos la tarea más difícil que es encontrar la función que cumple cada uno de esos genes y más difícil aún descifrar como las proteínas que están codificadas por cada uno de ellos actúan y se relacionan para conformar la complejísima cadena de interacciones que conforman las células y los organismos vivos. Sin duda que estas enormes tareas acapararán el interés de la comunidad de investigadores en biología molecular que trabajarán durante las primeras dos o tres décadas de este nuevo siglo.

Debemos pensar que paralelamente con los estudios del genoma humano se han estado haciendo estudios de genomas de otros organismos. Ya se han completado cerca de 30 genomas bacterianos y los genomas de levadura, C.*elegans y Drosophila*. Este año se completará el primer genoma de una planta, la *Arabidopsis thaliana* y el genoma del arroz está muy avanzado. No hay duda que en los próximos 5 años tendremos los genomas del ratón, el chimpancé, la vaca, el trigo y tal vez algunas otras plantas de importancia económica. Las técnicas desarrolladas para el genoma humano y la gran analogía que existe entre los genes de diferentes organismos facilitaran enormemente la tarea de asignar funciones a los genes de estas nuevas especies que nos interesan. Una noticia positiva para América Latina se encuentra en la publicación en la revista Nature del 13 de Julio (5) del genoma de la X*ilella fastidiosa*. Este trabajo hecho totalmente en Brasil constituye el primer desciframiento del genoma de una bacteria que es un importante fitopatógeno. La X.*fastidiosa* ataca las plantaciones de citrus en Brasil y otros países, reduciendo la productividad de estos árboles. El logro de Brasil demuestra que con la firme decisión política y con la eficiencia de instituciones como la Fundación para el Amparo de Pesquisas del Estado de Sao Paulo (FAPESP) es posible para un país latinoamericano posicionarse en la frontera del conocimiento. Actualmente el consorcio de laboratorios en Sao Paulo que logró este importante avance está ya muy adelantado en el estudio del genoma de la caña de azúcar. Sin duda que otros países latinoamericanos deberíamos seguir el ejemplo de Brasil en este campo.

El desarrollo de la bioinformática, una nueva ciencia que ha surgido de la conjunción de las dos tecnologías más dinámicas de estos años, nos permitirá hacer interesantísimas comparaciones entre los genomas de diferentes organismos. Estas comparaciones, por ejemplo entre chimpancés y humanos que se asemejan en más de un 98% deberían darnos luces sobre los factores genéticos que otorgan la extraordinaria capacidad cognitiva de la especie humana. Estas comparaciones serán también de enorme utilidad para el profundo entendimiento de la evolución molecular.

La elucidación del genoma humano y el desarrollo de técnicas para tipificar las particularidades genéticas de individuos permitirán el desarrollo de la "medicina predictiva". Esta disciplina correlacionará los rasgos genéticos con la predisposición a enfermedades que pueden aparecer varias décadas después.

Sobre esto hay que mencionar que el desciframiento del genoma facilitará enormemente el discernir los diversos genes que contribuyen a enfermedades poligénicas que incluyen a todas las mayores responsables de la morbilidad humana como son las patologías cardiovasculares, el cáncer, la enfermedad de Alzheimer, la diabetes, etc. La medicina predictiva podría ayudar mucho a realizar terapia preventiva y a monitorear a los individuos en alto riesgo de estas patologías.

Otro resultado previsible del conocimiento del genoma y de la función de sus genes que lo componen tiene que ver con las capacidades y algunos comportamientos humanos. Hay un cúmulo de evidencias que señalan que características como longevidad, y destrezas para las artes pláticas, las matemáticas o la música entre otras tienen componentes genéticos. Algunos comportamientos como la predisposición al alcoholismo también parecen tener factores genéticos. Toda esta área, que sin duda tiene muy importantes efectos sociales, será desarrollada a partir de los estudios genéticos y se tratará de responder la muy debatida pregunta sobre las relativas contribuciones de genes y ambiente a las habilidades o comportamiento de cada individuo.

En ambos casos, en la predicción de enfermedades y en la exploración de habilidades humanas hay importantes temas de ética que requieren ser discutidos y resueltos por nuestras sociedades. La confidencialidad de la información sobre las características genéticas de un individuo es muy fundamental para prevenir posibles discriminaciones por parte de los empleadores, compañías de seguros, o por el mismo estado. Otro tema de la bioética que debe ser aclarado se relaciona con la terapia génica, que altera o repara la información genética de un enfermo con fines terapéuticas. La vaga separación entre "lo sano" y "lo enfermo" es un problema que dificulta la definición del ámbito de este tipo de terapia.

Otro aspecto importante que tiene que resolverse en cuanto incide en la información genética que surge del genoma humano tiene que ver con las etnias de nuestros países y de otras latitudes. Esta información puede ser útil para conocer mejor algunas patologías que son prevalentes en los diversos grupos humanos. Debemos ser muy vigilantes de que ese tipo de información no sirva para ser fuente de discriminaciones inaceptables. NO es necesario tener una bola de cristal para poder predecir que los conocimientos del genoma humano y los que surgirán en la era post genómica tendrán un enorme impacto no sólo sobre las ciencias biológicas y las ciencias médicas sino también sobre la sociedad en su conjunto y también ciertamente sobre las instituciones educacionales y sobre los individuos.

4. La Educación en Ciencias : Necesidad Social

Hemos visto como las ciencias están desarrollándose con un ritmo desenfrenado, situación que se acelerará aun más en los próximos años. Hemos visto también con el ejemplo de los estudios genómicos, como este avance científico impactará con gran fuerza en todos los ámbitos de la sociedad de las próximas décadas. Estos hechos que con gran seguridad podemos predecir se contraponen con otro hecho actual que también podemos afirmar con gran certeza, un enorme y creciente desconocimiento de lo que hace y persigue la ciencia por parte del grueso de nuestra sociedad. Este analfabetismo científico en gran parte de los estratos sociales es un hecho mundial que tiene condiciones especialmente preocupantes en Chile y América Latina. Como lo ha expresado Carl Sagan (6) esta mezcla de poder por el lado de la ciencia e ignorancia por parte de la sociedad que le da sustento es una mezcla explosiva que es altamente peligrosa e inconveniente. Uno de los posibles escenarios, del cual ya tenemos algunos signos como hemos señalado en el caso de los alimentos transgénicos, es que la sociedad se atemorice del poder de la ciencia y la tecnología, pierda confianza en la validez de los objetivos que estas persiguen y le quite su apoyo. Esto sería un trágico escenario pues se estaría desechando una de las más poderosas herramientas de que disponemos para resolver los enormes problemas que enfrentará la sociedad del siglo XXI y también se estaría frenando uno de los más activos ámbitos de desarrollo cultural que ha construido la humanidad.

Para cerrar la brecha de las dos culturas que preocupaba a C.P. Snow (7) y permitir un fecundo diálogo entre la sociedad y la ciencia y la tecnología es necesario que se mejore la calidad de la

educación en ciencias en todos los niveles educacionales. También es necesario que los científicos y tecnólogos hagan un esfuerzo por comunicarse en forma entendible con la sociedad, que escuchen las preocupaciones y demandas del pueblo y que se propicie una divulgación científica de alta calidad. La comunidad científica chilena, consciente y preocupada de este tema, organizó hace sólo dos meses un importante evento titulado "CHILE-Ciencia 2000. Ciencia, Tecnología y Sociedad: Un Encuentro Necesario". En ese evento se discutió en profundidad sobre los mecanismos y estímulos que podrían fomentar el diálogo y permitir una mutua comprensión y un trabajo conjunto de los científicos y tecnólogos con el resto de la sociedad. Las principales ponencias y conclusiones de este Encuentro están en el Homepage de CONICYT (http://www.conicyt.cl).

Obviamente que entre todos estos temas el que más nos preocupa en esta ocasión tiene que ver con la educación en ciencias.

El aprendizaje de las ciencias tiene que iniciarse desde los primeros años de escolaridad. Es fundamental que los niños aprendan el enfoque de exploración, del juego experimental en que tratamos de contestar preguntas sobre el hombre y el universo, no memorizando las respuestas, sino buscando contestaciones con simples herramientas que manipulamos con nuestras propias manos. Esta metódica esta plenamente de acuerdo con los postulados de la reforma educacional en que se le otorga la mayor importancia a la actividad del educando versus el discurso del docente. Es importante que nuestros niños experimenten tempranamente el gozo del descubrimiento y que aprendan la fascinación de la ciencia. El método científico tiene además muchos valores formativos cono la sana crítica, la rigurosidad en el sacar conclusiones y el absoluto respeto por la verdad. Los niños que han conocido a la ciencia y a los científicos desde sus primeros años serán ciudadanos que se interesaran por la ciencia y valoraran la labor que hacen los científicos.

Desgraciadamente los niños tienen en general y en todo el mundo una errada y negativa idea de los científicos y de la ciencia. Esa es una idea que ayuda a generar el abismo entre ciencia y sociedad y que deberíamos cambiar.

El Prof. Leopoldo de Meis, destacado bioquímico brasileño, interesado en la enseñanza de las ciencias ha participado en un interesante estudio realizado en varios países del mundo que

estudiaba la visión que los niños tienen de los científicos recolectando dibujos en que niños de 10 a 13 años mostraban como imaginan a una persona trabajando en ciencia.

Como se puede ver en las figuras 2 y 3 que reproducimos de su libro "Ciencia e Educaçao" (8), la opinión de los niños en muchos casos es muy negativa ya que los científicos aparecen con caras terroríficas y con algunos claros signos de maldad o locura. Hay varios otros aspectos de estos dibujos que son interesantes y preocupantes de analizar. Uno de ellos es que en la gran mayoría de los dibujos, a pesar que sus autores fueron en todos los países aproximadamente iguales cantidades de cada sexo, el científico es claramente un hombre y sólo en 10% de los casos aparecen científicas en los dibujos. Esto significa que las niñas no ven la vida científica como un posible destino para ellas, lo que augura mal para nuestro deseo y necesidad de atraer más mujeres a la ciencia.
Al contrario, cuando se le pidió a los niños que dibujaran a un artista, los dibujos mostraron una relación de los sexos del artista representada muy cercana a la paridad. Otro aspecto importante del estudio del Dr. de Meis tiene que ver con las actividades que los niños relacionan con los científicos (Tabla III). Como podemos ver, la mayoría piensa en los científicos haciendo experimentos, pero muy pocos los ven pensando y observando, actividades que ocupan gran parte de nuestro tiempo. También es muy indicativo del gran desconocimiento de la actividad científica que los profesores de estos niños tienen el hecho que no incluyan a la docencia como una actividad a la cual los científicos dedicamos gran proporción de nuestro tiempo pues la gran mayoría estamos en las universidades y que tampoco consideren que la actividad científica ayuda a nuestros prójimos – una de las importantes motivaciones que nos impulsan en este difícil camino. Esta claro que tenemos mucho trabajo por delante para mejorar la percepción que tienen los niños y la sociedad sobre la ciencia y los científicos. Una de las maneras que tenemos para avanzar en esto es mejorar la educación en ciencias.
Una de las características que explican las bases del problema de la pobre educación científica de nuestros niños es la separación que ha existido en los últimos años entre las instituciones que forman a los profesores de nuestras escuelas y liceos y las Facultades universitarias donde se investiga en ciencia y tecnología. En general, las Facultades de Educación, las Universidades pedagógicas y otras instituciones que forman nuestros principales grupos de docentes en ciencias no incluyen entre sus cuadros académicos a un número significativo de investigadores científicos. Es difícil entonces que los profesores de ciencias tengan una vivencia real de lo que significa hacer ciencia, una vivencia que puedan transmitir a sus alumnos.

Un segundo factor que ya hemos visto está definido por el vertiginoso avance de las ciencias. Esta velocidad es tal que todos quedamos rápidamente obsoletos a menos que hagamos un tremendo esfuerzo para mantenernos al día en algunos campos muy específicos en que trabajamos. Este es un fenómeno general que afecta a todas las profesiones. Como profesor de la Facultad de Medicina les puedo contar que con mucha frecuencia acuden a mí connotados médicos quienes con congoja me dicen que ya no pueden leer revistas médicas de su especialidad porque no entienden los términos de la genética y biología molecular que se están empleando. Ellos necesitan re-actualizarse. Para los maestros y profesores de ciencias esta es una permanente necesidad. Los niños y jóvenes ven las noticias sobre el clonamiento de Dolly, sobre el genoma humano, sobre Steven Hawkins, y esperan que sus profesores les puedan aclarar y explicar de que se trata.

Estoy convencido que los científicos activos de nuestros países tenemos una tremenda responsabilidad de hacer algo por solucionar estos dos problemas. El año 1993, cuando tuvimos en Chile la Asamblea General de la ICSU, yo ocupaba el cargo de Presidente de la Academia Chilena de Ciencias. Decidimos aprovechar la presencia de las más importantes academias, la Royal Society del Reino Unido, la National Academy of Sciences de Estados Unidos, la Academia Rusa, la Francesa, etc. para tener una discusión sobre el tema de la ciencia y sociedad. Uno de los tres temas planteados fue el de cómo las Academias y los científicos podían ayudar a elevar el nivel de la educación en ciencias de los niños. La respuesta de la mayoría de las más antiguas y prestigiosas academias fue que ellas trabajaban conjuntamente con las Asociaciones de Profesores de Ciencias. Como en Chile no existía una Asociación equivalente, la Academia Chilena decidió crearla y en 1994 se fundó la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de Chile estrechamente vinculada a la Academia y al Comité Nacional ICSU. Esta Asociación que tiene personería jurídica y cuenta con más de 800 miembros acaba de realizar su 6° Congreso Nacional en Arica con mucha participación de delegados de otros países latinoamericanos. Uno de los logros de esta asociación ha sido demostrarles a los profesores que los científicos estamos interesados y dispuestos a colaborar con ellos y a su vez proporcionar a los científicos oportunidades concretas de contribuir a actualizar a los profesores y a escuchar sus problemas.
Las instituciones universitarias donde se realiza investigación científica de frontera también tienen una responsabilidad de cooperar en este campo. Nosotros, en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, tenemos una experiencia interesante. Hemos definido que institucionalmente vamos a concentrar nuestra labor de extensión en dos

campos: la actualización de los profesionales de la salud y el mejoramiento de la educación pre universitaria en ciencias biológicas. En este último campo hemos realizado una serie de actividades que incluyen series de conferencias en liceos municipalizados de la Región Metropolitana, actividades de estudiantes de enseñanza media en los laboratorios del ICBM y cursos para profesores. También hemos preparado materiales histológicos para demostrar la materia de la célula y sus componentes en el programa del 1er año medio. Tal vez lo más novedoso que hemos hecho ha sido un curso práctico sobre ingeniería genética de una semana de duración. Hemos montado este curso con apoyo de la Fundación Andes y lo hemos ofrecido 7 veces a profesores y alumnos. Uno de esos cursos se desarrolló en el Mineral El Salvador, donde se llevaron los simples aparatos y reactivos y los niños y profesores de esa apartada ciudad pudieron hacer ingeniería genética de bacterias y aislar genes y proteínas. Esta experiencia nos ha llevado a postular la constitución de laboratorios móviles que puedan trasladarse a diferentes liceos y colegios y que eviten la necesidad de hacer costosas instalaciones en cada establecimiento.

A ese respecto hemos tomado contacto nuevamente con las Academias de Ciencias de otros países. En la reunión mundial de Academias de Ciencias realizada en Tokio, a que ya me he referido, se le dio mucha importancia al tema de la educación en Ciencias, lo que nos permitió generar muchos contactos y plantear una reunión en Enero del 2001 en Chile en que participarían muchas academias de América Latina y las de Estados Unidos y Francia. Esa reunión se centraría en la participación de científicos en la preparación de materiales de experimentación que puedan permitir que los niños los manipulan y vayan descubriendo algunos de los grandes principios de la ciencia. Pensamos recoger las muy importantes experiencias de los otros países en este campo y plantearle al Ministerio de Educación un proyecto sobre esta materia.

Hay muchas otras maneras como los científicos pueden colaborar con los profesores y con las autoridades para mejorar el nivel de la educación científica de nuestra juventud. La confección de textos y la revisión de sus contenidos es una tarea concreta en que ya hay varios científicos participando, pero en la que necesitamos involucrar a más personas. Otra área tiene que ver con el desarrollo de la educación informal, por ejemplo en la implementación de museos científicos y en ferias y otras actividades como las que impulsa con mucho éxito el Programa Explora de CONICYT.

En el siglo XXI la ciencia y la tecnología tendrán un impacto cada vez mayor en la vida de cada persona de este planeta. Es muy importante que esas personas tengan una comprensión mínima de lo que es y persigue la ciencia. Esa comprensión le permitirá a los ciudadanos del futuro opinar y

demandar de la ciencia la solución de sus problemas y aprovechar mejor los aportes de las nuevas tecnologías para mejorar su calidad de vida. La educación tiene que jugar un papel esencial en fomentar esa comprensión y permitirle a la sociedad disfrutar con los logros de esa fascinante aventura de la mente humana.

Referencias Bibliográficas

1. Our Common Journey. A transition toward sustainability. Policy Division of the National Research Council. National Academy Press, Washington, 1999.
2. Towards Sustailable Consumption. A European Perspective. Brian Heap and Jennifer Kent eds. The Royal Society. London, 2000.
3. Transition to Global Sustainability. The Contribution of Brazilian Science. C.E. Rocha-Miranda ed., Academia Brasileira de Ciencias. Rio de Janeiro, 2000.
4. Transgenic Plants and World Agriculture. Report prepared under the auspices of the Royal Society of London, the U.S. National Academy of sciences, the Brazilian Academy of Sciences, the Chinese Academy of Sciences, the Indian National science Academy, the Mexican Academy of Sciences and the Third World Academy of Sciences. http://www.nap.edu.html/transgenic.
5. The Xylella fastidiosa Consortium of the Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis, Sao Paulo, Brazil. The Genome sequence of the plant patogen Xylella fastidiosa. Nature 406, 151-157, 2000.
6. The Demon-Haunted World, Carl Sagan, Hotline Press,1996.
7. "The Two Cultures", C.P. Snow, Cambridge University Press,1959.
8. "Ciência e educaçao o conflito humano-tecnologico ", L. de Meis.

Figuras y Tablas

TABLA I

HITOS DE LA BIOLOGIA MOLECULAR

AÑO	DESCUBRIMIENTO	INVESTIGADOR
1944	**EL DNA ES EL MATERIAL GENÉTICO**	**O. AVERY**
1953	**LA DOBLE HÉLICE DEL DNA**	**WATSON* y CRICK***
1959	**EL RNA MENSAJERO COPIA LA INFORMACIÓN DEL DNA**	**JACOB* y MONOD***
1961	**PRIMERA LETRA DEL CÓDIGO GENÉTICO**	**M. NIRENBERG***
1965	**DESCIFRAMIENTO TOTAL DEL CÓDIGO**	**NIRENBERG, OCHOA* y KHORANA***
1962-1967	**MECANISMO DE LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS**	**LIPMANN* y varios laboratorios**
1963-1972	**DESCUBRIMIENTO ENZIMAS DE RESTRICCIÓN**	**ARBER* y SMITH*, NATHANS***
1973	**PLÁSMIDOS RECOMBINANTES**	**BERG*, COHEN, H. BOYER**
1977	**MÉTODOS DE SECUENCIACIÓN DEL DNA**	**GILBERT*, SANGER***
1981	**RATONES TRANSGÉNICOS**	**PALMITER y B RINSTER**
1985	**PCR - AMPLIFICACIÓN DEL DNA**	**MULLIS***
1988	**TÉCNICA DEL KNOCK-OUT MUTACIÓN DE GENES ESPECÍFICOS**	**M. CAPECCHI**
1989	**SE INICIA PROYECTO GENOMA HUMANO**	**NIH, DOE, HUGO**
1993	**PRIMERA SECUENCIA DE CASCADA DE TRANSDUCCIÓN DE SEÑALES**	**WEINBERG, ARBUCH y VARIOS**
1995	**PRIMER GENOMA BACTERIANO *HAEMOFILLUS INFLUENZAE***	**TIGR - Empresa**
1996	**GENOMA DE LEVADURA**	**UNIÓN EUROPEA - Consorcio de laboratorios**
1997	**CLON DE MAMÍFERO - DOLLY**	**WILMUT y colaboradores**
1998	**GENOMA DE C. ELEGANS DESCUBRIMIENTO DE CÉLULAS TRONCALES HUMANAS**	**Consorcio de Laboratorios -Thomson y cols-**
MARZO 2000	**GENOMA DE DROSOFILA**	**Consorcio de laboratorios y Empresas – Celera**
JUNIO 2000	**MAPA GENERAL DEL GENOMA HUMANO**	**Consorcio internacional – Celera**

* GANADORES DE PREMIO NOBEL

tabla II

ALGUNOS IMPACTOS DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR Y LA BIOTECNOLOGÍA EN LA MEDICINA, LA AGRICULTURA Y LA INDUSTRIA

1) **PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS DE ALTO VALOR TERAPEÚTICO MEDIANTE INGENIERÍA GENÉTICA**
   [INSULINA, INTERFERON, HORMONA DE CRECIMIENTO, HGF, ETC.]

2) **LA GENERACIÓN DE NUEVOS TIPOS DE VACUNAS**
   [HEPATITIS B, RABIA, - VACUNAS DNA]

3) **DIAGNÓSTICO DE AGENTES INFECCIOSOS CON PEQUEÑÍSIMAS MUESTRAS** [KITS DE DIAGNÓSTICO MEDIANTE PCR PARA ENFERMEDADES INFECCIOSAS – HIV]

4) **LA LÓGICA MOLECULAR DEL CÁNCER**

5) **LOS MECANISMOS DE LA FUNCIÓN HORMONAL Y DE LA TRANSDUCCIÓN DE SEÑALES INTER CELULARES**

6) **EL DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES GENÉTICAS Y ESTRATEGIAS EXPERIMENTALES PARA LA TERAPIA GÉNICA**

7) **DISEÑO DE DROGAS MEDIANTE MODELAMIENTO MOLECULAR**
   [INHIBIDORES DE PROTEASAS PARA TRATAMIENTO DEL HIV]

8) **LA GENERACIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS QUE SON RESISTENTES A VIRUS Y A INSECTOS**

9) **LA GENERACIÓN DE PLANTAS TRANSGÉNICAS RESISTENTES A HERBICIDAS O A SUELOS ÁRIDOS, ÁCIDOS O TÓXICOS**

10) LA PRODUCCIÓN DE GRANOS O FRUTAS DE MÁS ALTO PODER NUTRITIVO MEDIANTE MODIFICACIONES GENÉTICAS

11) LA PRODUCCIÓN DE VACUNAS Y ANTICUERPOS PARA USO ANIMAL O HUMANO EN PLANTAS

12) LA GENERACIÓN DE ANIMALES TRANSGÉNICOS (CERDOS, OVEJAS, SALMONES) QUE CRECEN MÁS RÁPIDO AL SOBRE EXPRESAR LA HORMONA DE CRECIMIENTO EXÓGENA

13) LA PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS DE ALTO VALOR TERAPEÚTICO EN LA LECHE DE ANIMALES TRANSGÉNICOS

14) PRODUCCIÓN DE NUEVOS Y MEJORES ANTIBIÓTICOS MEDIANTE CEPAS DE BACTERIAS U HONGOS GENETICAMENTE MODIFICADOS

15) PRODUCCIÓN DE ENZIMAS, AMINO ÁCIDOS U OTROS COMPUESTOS DE ALTO VALOR COMERCIAL EN BACTERIAS Y LEVADURAS

16) DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS Y RESIDUOS MEDIANTE CEPAS DE MICRO ORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS

17) PROCESOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIOS EN NÚMEROSAS INDUSTRIAS (INDUSTRIA DE PULPA DE PAPEL O DE LA HARINA DE PESCADO) DEBIDO AL USO DE BIOTECNOLOGÍA.

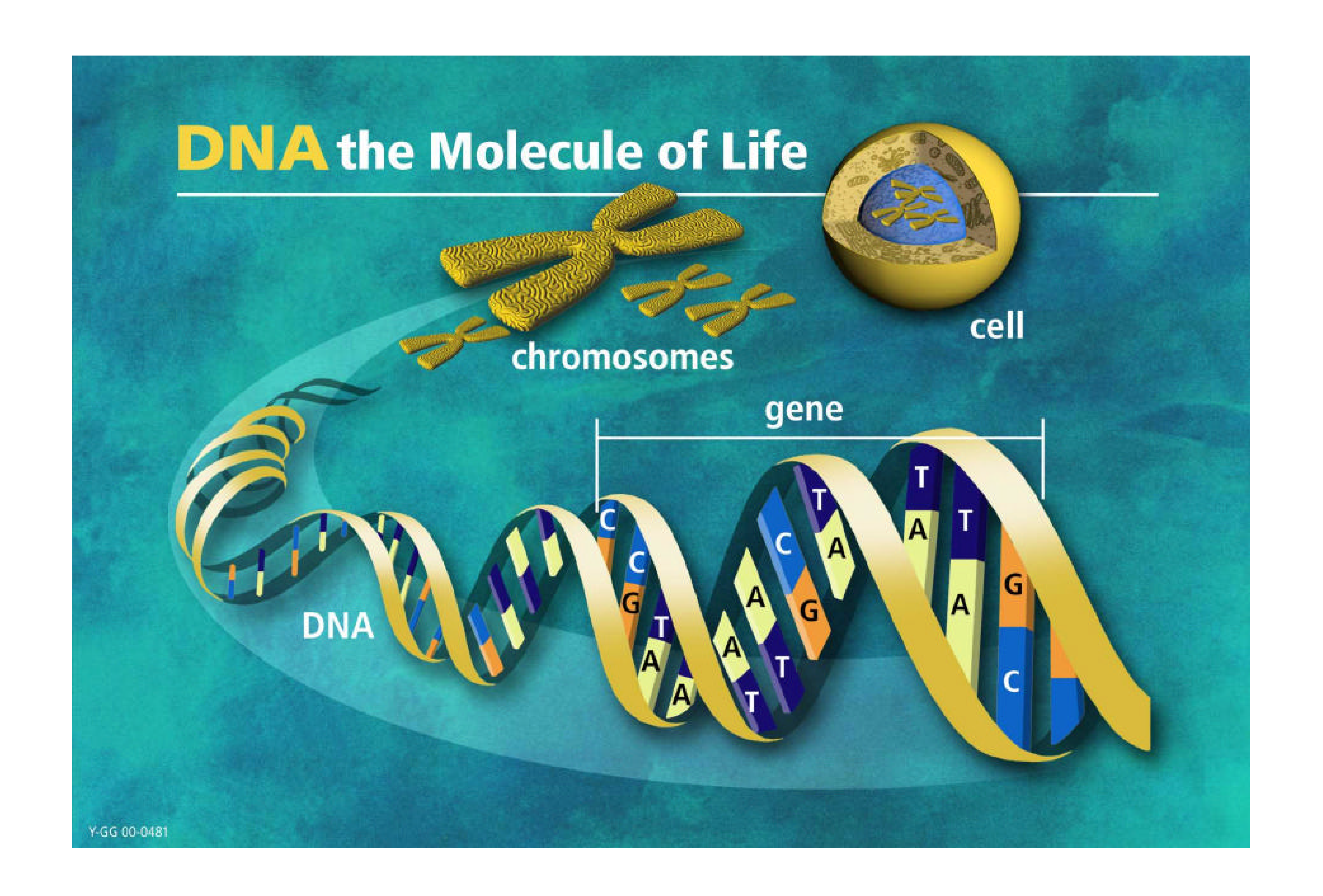
Tabla III

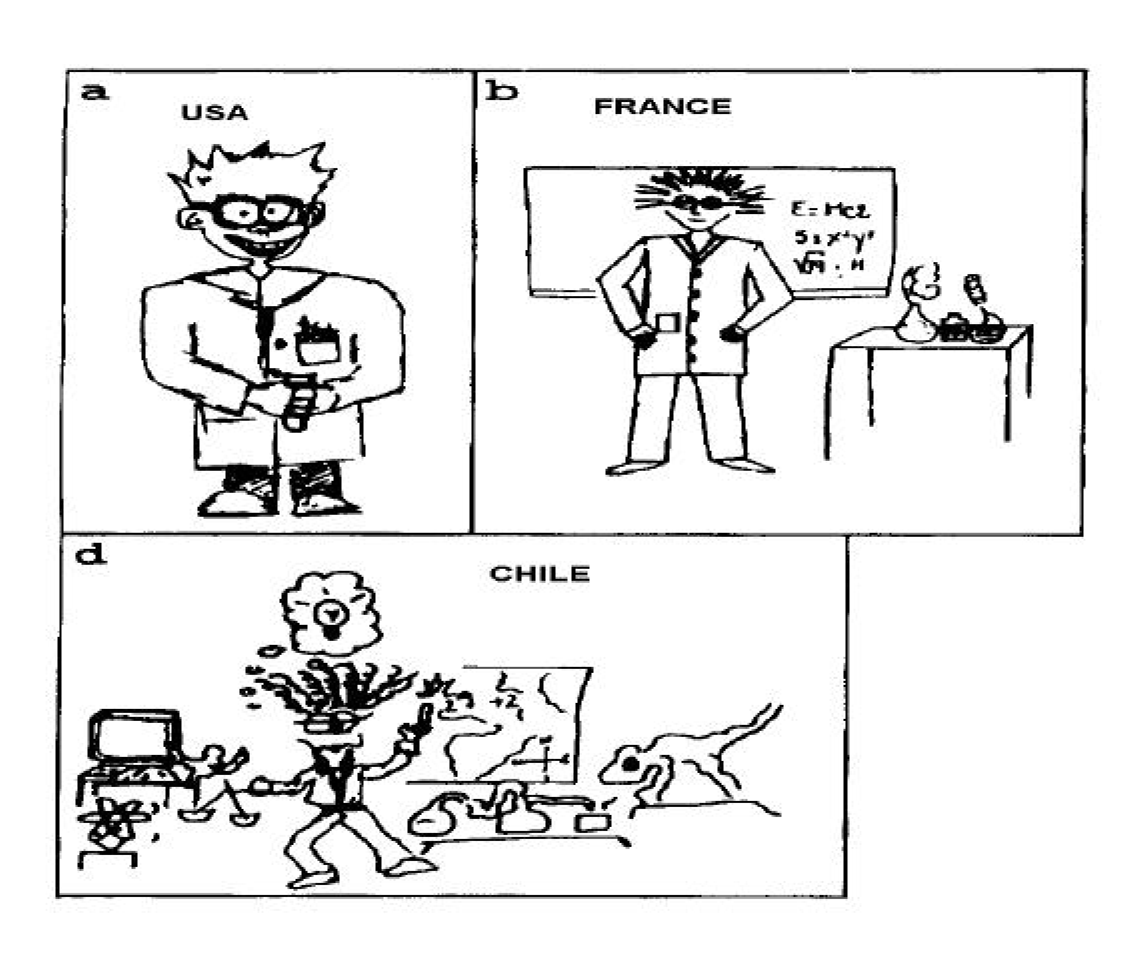
Frecuencia (en %) de las palabras claves citadas en la respuesta a la pregunta:

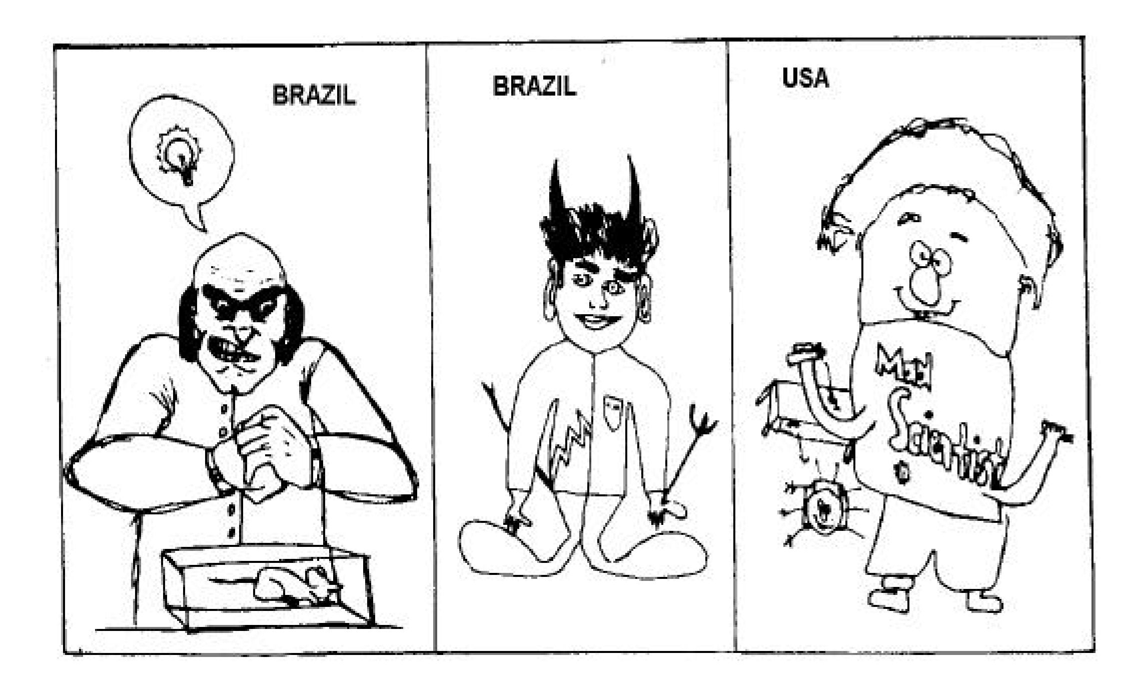
¿Cuál es la actividad de un Científico?

Palabras Claves	Escuela Básica 1°	2°	3°	4°	5°	Escuela Media	Profesores de Escuela	Científicos
Haciendo experimentos	42	38	60	58	70	91	84	52
Investigando	8	40	45	36	55	80	43	13
Descubriendo	17	17	44	27	48	65	37	13
Invención	74	26	26	22	33	16	2	0
Creación	0	5	4	10	4	10	20	17
Pensando	2	0	0	1	1	4	7	30
Haciendo hipotesis	0	0	0	0	1	13	26	20
Observando	0	3	1	3	1	25	47	17
Enseñando	2	1	0	2	2	3	8	35
Publicando	2	0	0	0	1	4	8	43
Ayudando a otros	0	0	0	0	0	1	5	26
Número de respuestas	53	81	85	96	181	302	133	54

Fuente: Ciência e educaçao - o conflito humano-tecnologico - L. De Meis


DNA the Molecule of Life
cell
chromosomes
gene
DNA
C
C
G
T
A
A
A
A
T
T
C
G
T
A
T
A
T
A
G
C
Y-GG 00-0481


a
USA
b
FRANCE
d
CHILE


BRAZIL
BRAZIL
USA
Mad Scientist

a USA

b FRANCE

c ITALY

d CHILE

e MEXICO

f INDIA

g NIGERIA

